359/355
1910
350/1,2

Über Ferienkurse

für

wissenschaftliche Mikroskopie

Von

Prof. Dr. Otto Fischer

in Leipzig.

Sonderabdruck.
Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie
und für mikroskopische Technik
Bd. XXVII, 1910, p. 94—115.

M. 331.

359/355

— *Sonderabdruck.* —
Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und für mikroskopische Technik
Band XXVII, 1910, p. 94—115.

Über Ferienkurse für wissenschaftliche Mikroskopie.

Von

Prof. Dr. Otto Fischer

in Leipzig.

Obgleich nun schon fast 40 Jahre verstrichen sind, seitdem Abbe durch eine Reihe epochemachender Untersuchungen nicht nur den Mikroskopbau auf exakte Basis gestellt, sondern vor allen Dingen auch die physikalischen Vorgänge bei der Entstehung des mikroskopischen Bildes aufgeklärt hat, sind die gewonnenen wissenschaftlichen Grundlagen des Mikroskopierens bis heute noch nicht Gemeingut aller derer geworden, welchen das Mikroskop ein unentbehrliches Hilfsmittel für Studium und Forschung darstellt. Man nimmt auch jetzt noch vielfach das Mikroskop als ein von der Technik geliefertes Präzisionsinstrument hin, dessen Angaben unbedingt Glauben zu schenken ist, ohne zu beachten, daß auch dem besten Mikroskop eine Grenze des Leistungsvermögens gesteckt ist, und daß bei Überschreitung einer bestimmten Vergrößerung überhaupt keine neuen Struktureinzelheiten im mikroskopischen Bilde auftreten können. Die Erzeugung einer möglichst scharfen und farbenreinen Abbildung allein ist noch nicht maßgebend für die Richtigkeit der Abbildung, und selbst bei Anwendung von Objektiven von großer numerischer Apertur können die Bilder von sehr feinen Strukturen keinen An-

spruch auf volle Objektähnlichkeit machen, wenn auch die sphärische und chromatische Korrektion auf das sorgfältigste durchgeführt ist. Es erscheint deshalb dringend nötig, daß der wissenschaftliche Mikroskopiker die unvermeidlichen Fehlerquellen seines Instruments kennt, wenn er sich nicht bedenklichen Täuschungen in der Deutung der Bilder aussetzen will.

Wenn auch neuerdings die Resultate der Abbeschen Forschungen in Vorlesungen und Lehrbüchern eingehender vorgetragen werden, so kommt dies doch in erster Linie der jüngeren Generation der Mikroskopiker zustatten. Außerdem liegt es in der Natur der Sache, daß eine volle Beherrschung der neuen Theorien und Prüfungsmethoden durch Vorlesung und Studium von Lehrbüchern allein nicht erreicht werden kann, sondern daß hierzu Übungen mit geeigneten Apparaten und vereinfachten mikroskopischen Objekten unerläßlich sind. Es kann daher nicht hoch genug eingeschätzt werden, daß seit einer Reihe von Jahren die Herren Prof. Dr. H. Ambronn, Dr. H. Siedentopf und Dr. A. Köhler in Jena es sich zur Aufgabe gemacht haben, in regelmäßig wiederkehrenden Ferienkursen über wissenschaftliche Mikroskopie nicht nur die Abbeschen Theorien und Hilfsmittel zur Beurteilung der Güte und Leistungsfähigkeit eines Mikroskops eingehend zu erörtern, sowie durch Demonstrationen und Übungen dem Verständnis näher zu bringen, sondern auch zugleich die Bekanntschaft mit den neuesten und allerneuesten Errungenschaften, Verbesserungen und Einrichtungen für die Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen, für die Mikrophotographie mit sichtbarem und ultraviolettem Licht und deren Anwendung auf Biologie und Medizin zu vermitteln. Diese Kurse, welche von vornherein in äußerst dankenswerter Weise von der Firma Carl Zeiss in Jena durch Überlassung zahlreicher wertvoller Mikroskope und Apparate unterstützt worden sind, haben mit der Zeit immer mehr Anklang gefunden und hinsichtlich der Verbreitung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Mikroskopie schon jetzt große Erfolge aufzuweisen.

Im XXIV. Bande dieser Zeitschrift (p. 1—12) hatte bereits H. Ambronn darauf aufmerksam gemacht, daß außer dem regelmäßigen akademischen Unterricht in dem seit 1903 an der Universität Jena bestehenden Institut für Mikroskopie auch öfters wiederkehrende Ferienkurse für wissenschaftliche Mikroskopie eingerichtet werden sollten. Deren Aufgaben und Ziele konnten damals nur kurz angedeutet werden. Seitdem haben nun

schon fünf solcher Kurse stattgefunden, zwei in Jena (1907 und 1909), sowie je einer in Wien (1908), in Berlin (1909) und in Leipzig (1910). Es dürfte deshalb angezeigt sein, ebenfalls in dieser Zeitschrift eingehender über den Verlauf dieser Kurse, besonders über die Verteilung des Lehrstoffes zu berichten. Der Andrang zu dem letzten V. Ferienkurs in Leipzig, der zur einen Hälfte im anatomischen, zur anderen im physikalischen Institut der Universität stattfand, war so groß, daß das Maximum der überhaupt aufnehmbaren Teilnehmerzahl nahezu erreicht wurde. Es beteiligten sich nicht weniger als 70 Herren aus den verschiedensten Gegenden Deutschlands und Österreichs an den Vorlesungen, Demonstrationen und Übungen und außerdem noch mehrere Herren an den Vorlesungen allein. Der Verfasser hat an allen Vorträgen und Demonstrationen dieses Kursus teilgenommen und glaubt mit dem nachstehenden Bericht einem mehrfach geäußerten Wunsch zu entsprechen.

Der Ferienkurs dehnte sich, wie in den vergangenen Jahren, über eine ganze Woche (vom 7. bis 12. März) aus.

Der erste Tag brachte einen Vortrag des Herrn Prof. Dr. H. Ambronn über die Abbesche Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung. Der Vortragende ging zunächst auf die früheren Bestrebungen ein, die Vergrößerung der mikroskopischen Bilder immer mehr zu steigern. So hatte u. a. Listing den Vorschlag gemacht, an Stelle des Okulars wieder ein zusammengesetztes Mikroskop zu setzen. Daß auf diese Weise kein wesentlicher Vorteil erzielt werden konnte, war den geübteren Mikroskopikern schon damals bekannt, denn sie wußten aus der Erfahrung, daß der Hauptanteil der Leistung eines Mikroskops dem Objektivsystem zufällt. Der Grund für diese aus der Erfahrung gewonnene Tatsache war aber nicht bekannt und wurde erst durch die Untersuchungen Abbes klargelegt; er bewies zuerst, daß es für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope eine Grenze gibt, über welche man der Natur der Sache nach niemals hinausgelangen kann. Helmholtz hatte zwar ungefähr gleichzeitig aber unabhängig von Abbe schon dasselbe Resultat abgeleitet; er war aber dabei von Voraussetzungen ausgegangen, welche nur für selbstleuchtende Objekte zutreffen. Die mikroskopischen Objekte sind dagegen nur in den seltensten Fällen selbstleuchtend, sie sind fast stets beleuchtet oder durchleuchtet. Zwischen der Abbildung der nach allen Richtungen Strahlen aussendenden selbstleuchtenden Körper und der durch einen Strahlenkegel von bestimmter Öffnung durchleuchteten Objekte besteht aber ein prinzipieller Unterschied, den zuerst erkannt und in seinen Einzelheiten dargelegt zu haben, eins der größten Verdienste Abbes ist.

Es war bekannt, daß unter sonst gleichen Umständen ein Objektivsystem mit großem Öffnungswinkel mehr leistet als ein solches mit nur kleiner Öffnung, sofern es sich um beleuchtete oder durchleuchtete Objekte handelt und in beiden Fällen der gleiche Strahlenkegel zur Beleuchtung benutzt wird. Weiter hatte man beobachtet, daß durch schiefe Beleuchtung

die Leistung eines Mikroskops erhöht wird. Da nun bei großem Öffnungswinkel des Objektivs und auch bei schiefer Beleuchtung ein enger Strahlenkegel die ganze Öffnung des Objektivs gar nicht ausfüllt, so mußte dem zwischen ihm und dem Rande der Öffnung vorhandenen dunklen Raum eine bestimmte Rolle bei der Abbildung zufallen. Abbe entdeckte, daß dieser dunkle Raum von Strahlen durchsetzt wird, welche beim Durchgang der beleuchtenden Strahlen durch das Objekt infolge der mehr oder weniger regelmäßigen Struktur desselben abgebeugt werden. Die kugelförmige bzw. ebene Wellenfläche der Beleuchtungsstrahlen wird durch die Struktur in bestimmter Weise deformiert, wodurch der Beugungseffekt hervorgebracht wird. Die Beugungsbüschel, welche gegenüber den direkten Beleuchtungsstrahlen, den Strahlen des sogen. absoluten Maximums, eine geringe Helligkeit haben, erzeugen in der zur Lichtquelle in bezug auf das Objektiv zugeordneten Ebene (also bei weit entfernter Lichtquelle in der Nähe der hinteren Brennebene des Objektivs) eine aus einzelnen Beugungsspektren zusammengesetzte Beugungserscheinung, die man im Mikroskop bei abgenommenem Okular direkt beobachten kann. Je enger die Struktur des mikroskopischen Objekts, um so weiter liegen diese Einzelspektren auseinander.

Wie Abbe theoretisch und experimentell nachweisen konnte, ist nun das mikroskopische Abbild der Objektstruktur in jedem Falle durch das Beugungsbild in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene vollständig bestimmt; es ist ein Resultat der Interferenz der die Beugungsspektren bildenden Strahlen. Das mikroskopische Bild ist daher eine sekundäre Erscheinung, welche die Existenz des Beugungsbildes der Lichtquelle voraussetzt. Damit das mikroskopische Bild dem Objekt in allen Teilen ähnlich ist und also ein genaues vergrößertes Abbild desselben darstellt, müssen infolgedessen sämtliche am Objekt abgebeugten Büschel, wenigstens soweit sie noch von merkbarer Intensität sind, zu seiner Erzeugung beitragen. Sobald auch nur ein Teil der Beugungsbüschel infolge zu geringer Öffnung des Objektivsystems oder durch besondere Blenden gehindert wird, sich an dem Interferenzvorgang in der dem Objekt konjugierten Bildebene zu beteiligen, muß das Bild dem mikroskopischen Objekt mehr oder weniger unähnlich werden, und zwar um so unähnlicher, ein je größerer Teil der Beugungsbüschel dem Mikroskop verloren geht. Damit überhaupt eine periodische Struktur des Objekts von einer bestimmten Richtung aufgelöst wird, müssen bei zentraler Beleuchtung mindestens je ein Beugungsspektrum in der dazu senkrechten Richtung auf jeder Seite des absoluten Maximums in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene in das Objektiv eintreten können; bei schiefer Beleuchtung genügt dagegen nur ein einziges seitliches Beugungsspektrum. In beiden Fällen ist aber dann die Struktur im Bild nur angedeutet; dieselbe tritt um so schärfer hervor, je mehr Beugungsbüschel in das Mikroskop eintreten.

Da die in das Mikroskop aufgenommenen Beugungsbüschel allein maßgebend für die Struktur im mikroskopischen Bilde sind, so gehören zu gleichen Beugungsbildern in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene auch immer gleiche mikroskopische Bilder. Man kann daher durch Beeinflussung des Beugungsbildes die Struktur im mikroskopischen Bilde in bestimmter

Weise abändern und unter Umständen Bilder von Strukturen hervorrufen, welche das mikroskopische Objekt gar nicht aufweist. Blendet man beispielsweise auf jeder Seite das erste, dritte, fünfte usw. Beugungsspektrum eines gleichmäßigen Gitters von parallelen Streifen ab, so entspricht das noch wirksame Beugungsbild einem gleichmäßigen Gitter, bei welchem die Streifen nur den halben Abstand voneinander haben. Im mikroskopischen Bild müssen demnach doppelt soviel Streifen erscheinen, als das Objekt selbst hat. Bei Abblendung des ersten und zweiten, vierten und fünften Beugungsspektrums auf jeder Seite muß sich im Bild die Anzahl der Streifen verdreifachen u. s. f. Blendet man dagegen sämtliche seitliche Spektren ab, so muß im mikroskopischen Bild jede Spur einer Streifung verschwunden sein und das Gesichtsfeld eine gleichmäßig helle Fläche darstellen.

Alle diese und noch andere Ergebnisse der Abbeschen Theorie lassen sich mit Hilfe des Abbeschen Diffraktionsapparates experimentell bestätigen. Derselbe besteht aus der als mikroskopisches Objekt dienenden sogen. Diffraktionsplatte, auf der sich mehrere Streifensysteme in eine dünne Silberschicht eingeritzt finden, und einer Reihe von Blenden, die mit Hilfe eines drehbaren Schiebers in der dem Okular zugewendeten Brennebene des Mikroskopobjektivs angebracht werden. Die Diffraktionsplatte enthält zunächst ein Streifensystem, welches aus parallelen Linien besteht, die in der oberen Hälfte doppelt soweit voneinander entfernt sind als in der unteren. Das reelle Beugungsbild, das man nach Abnahme des Okulars in der Nähe der hinteren Brennebene des Objektivs in der Luft schweben sieht, besteht dementsprechend außer dem absoluten Maximum, d. h. dem direkten Bilde der Blendenöffnung des Beleuchtungsapparates, aus einer zu beiden Seiten sich erstreckenden Anzahl von Spektren, welche in der oberen Hälfte nur halb soweit voneinander entfernt sind als in der unteren Hälfte. Die mittels des drehbaren Schiebers in der Ebene des reellen Beugungsbildes anzubringenden Blenden sind nun folgendermaßen konstruiert. Eine Blende läßt nur das in der Mitte befindliche absolute Maximum frei; der Effekt ist ein gleichmäßig helles Gesichtsfeld ohne Struktur. Eine zweite Blende läßt außer dem absoluten Maximum die beiden ersten Beugungsspektren des weiteren Gitters frei; im mikroskopischen Bild erscheint nur in der oberen Hälfte das weitere Gitter angedeutet, während die untere Hälfte des Gesichtsfeldes ohne Struktur ist. Eine dritte Blende hat drei parallele Spalten, welche außer dem absoluten Maximum auf jeder Seite das erste Beugungsspektrum des engeren Gitters in der unteren Hälfte und das in dessen Verlängerung liegende zweite Spektrum des weiteren Gitters in der oberen Hälfte frei lassen, während alle anderen Beugungsspektren, insbesondere das zum weiteren Gitter gehörende erste Spektrum auf jeder Seite abgeblendet werden; der Effekt ist: Andeutung des engeren Gitters in der unteren Hälfte und Verdoppelung der Streifen des weiteren Gitters in der oberen Hälfte des Gesichtsfeldes, so daß kein Unterschied mehr in der Streifenzahl oben und unten besteht, sondern die Streifen in der einen Hälfte direkt die Fortsetzung der Streifen in der anderen Hälfte darstellen.

Außer dem Parallelgitter befinden sich auf der Abbeschen Diffraktionsplatte noch zwei durch Übereinanderlagerung zweier gleichmäßiger

Parallelgitter hervorgebrachte Kreuzgitter; bei dem einen sind die Streifen beider Gitter unter 90°, bei dem anderen unter 60° gegeneinander geneigt. Da die Beleuchtungsstrahlen nur an den Stellen die Diffraktionsplatte durchsetzen können, an welchen sich zwei Streifen der beiden Systeme durchschneiden, so besteht in beiden Fällen das mikroskopische Objekt aus einer großen Anzahl heller Punkte, welche in zwei unter 90° bzw. 60° gegen einander geneigten Reihen regelmäßig angeordnet sind. Eine entsprechende Anordnung zeigen dann auch in der Gegend der hinteren Brennebene die reellen Beugungsspektren, sofern die den Beleuchtungskegel begrenzende Blende jetzt nur eine verhältnismäßig enge kreisförmige Öffnung besitzt. Trotzdem also das Objekt nur aus hellen Punkten besteht, so lassen sich doch durch schmale spaltförmige Blenden in der hinteren Brennebene des Objektivs die mannigfaltigsten Systeme paralleler Streifen im Gesichtsfeld hervorzaubern, welche der Abbeschen Theorie genau entsprechen und daher eine weitere glänzende Bestätigung derselben geben.

Im Anschluß an die vorgetragenen Abbeschen Theorien der mikroskopischen Bilderzeugung kann man sich nun auch leicht über die Grenze der Leistungsfähigkeit eines Mikroskops Rechenschaft geben. Nimmt man als mikroskopisches Objekt ein System paralleler Streifen vom Abstand δ, so besteht zwischen diesem Abstand δ, dem Winkel u, welchen das erste Beugungsbüschel jeder Seite mit der Mikroskopachse bildet, und der Wellenlänge λ der Beleuchtungsstrahlen die Beziehung $\delta = \frac{\lambda}{n \sin u}$, wobei unter n der Brechungsexponent des Mittels verstanden ist, welches sich zwischen Objekt und Frontlinse des Mikroskopobjektivs befindet. Der Winkel u wird um so größer, je höher die Ordnung des Beugungsbüschels ist. Berücksichtigt man das äußerste Beugungsbüschel, welches noch vom Mikroskop aufgenommen wird, so stellt u den halben Öffnungswinkel und n sin u die sogen. numerische Apertur a dar; man hat demnach in diesem Falle: $\delta = \frac{\lambda}{a}$.

Da die numerische Apertur für Trockensysteme immer unter 1 bleiben muß (im Maximum etwa 0·95), bei Wasserimmersion dagegen 1·25 und bei homogenen Ölimmersionen 1·4 betragen kann, so lehrt die Formel, daß bei zentraler Beleuchtung im günstigsten Falle noch die Streifen eines Parallelgitters aufgelöst werden können, welche um etwa $^2/_3$ der Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlen voneinander abstehen. Durch schiefe Beleuchtung kann dieser auflösbare Abstand noch auf die Hälfte heruntergedrückt werden; denn man hat in diesem Falle an der äußersten Grenze schiefer Beleuchtung: $\delta = \frac{\lambda}{2a}$.

Um die Grenze der Auflösbarkeit einer Struktur möglichst hinauszuschieben, hat man demnach zwei Möglichkeiten. Entweder man sucht die numerische Apertur a des Mikroskopobjektivs zu vergrößern — auf diesem Wege ist die praktisch erreichbare Grenze zurzeit die numerische Apertur 1·4 —, oder man verwendet zur Beleuchtung Licht von möglichst kleiner Wellenlänge. Dieses letztere Mittel hat zuerst Dr. A. Köhler bei

der Photographie mit ultraviolettem Licht verwendet, wie in einem späteren Vortrage noch ausführlicher dargelegt wurde.

Handelt es sich nicht um die Auflösbarkeit einer Struktur, sondern nur um die Sichtbarmachung kleinster Objekte, so können die letzteren noch viel geringere Dimensionen (bis herunter zu etwa 4 $\mu\mu$) besitzen, wenn man nur für genügende Kontrastwirkung sorgt. Dies wird erreicht bei der später ebenfalls noch eingehender behandelten Dunkelfeldbeleuchtung, insbesondere der Ultramikroskopie nach Siedentopf und Zsigmondy, welche neuerdings durch Verwendung des Kardioidkondensors von Siedentopf noch wesentlich verbessert worden ist. —

Im Anschluß an den Vortrag wurden nun Übungen zur Abbeschen Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung abgehalten. Diese Übungen wurden zunächst unter Verwendung der Abbeschen Diffraktionsplatte und der bereits beschriebenen Blenden in der oben angegebenen Weise angestellt. Dann wurde als Objekt Pleurosigma angulatum verwendet. Es konnte dabei jeder Teilnehmer konstatieren, daß die Struktur der Pleurosigmaschale mit dem Zeissschen Objektiv D und Okular 4 bei enger zentraler Beleuchtung nicht sichtbar ist, dagegen durch schiefe Beleuchtung zum Vorschein gebracht werden kann. Bei Verwendung des Objektivs DD und Okulars 4 oder des Apochromaten 4 mm mit Kompensationsokular 8 war dagegen die Auflösung schon bei zentraler Beleuchtung zu erkennen. Nach Herausnahme des Okulars konnte man sich in den verschiedenen Fällen davon überzeugen, daß, wenn eine Struktur zu erkennen war, und nur dann, mindestens die ersten Beugungsspektra außer dem absoluten Maximum in der hinteren Brennebene des Objektivs bemerkbar waren.

Am zweiten Tage hielt abermals Herr Prof. Dr. Ambronn einen Vortrag, und zwar über die Methoden zur Prüfung der Objektivsysteme. Der Vortragende legte dar, auf welche Weise man praktisch die größte Leistungsfähigkeit bei einem Mikroskop erreichen kann. Hierzu ist vor allem eine ausgezeichnete Beschaffenheit des Objektivsystems erforderlich. Dasselbe muß sowohl sphärisch als auch chromatisch so gut wie möglich korrigiert sein und außerdem große numerische Apertur besitzen. Während bei schwächeren Objektiven noch ein gewisser kleiner Spielraum für die Lage des Objekts gegeben ist, muß für alle stärkeren Objektive der Ort des Objekts und damit auch die Lage des Bildes konstant sein, wenn die beste Bildschärfe erreicht werden soll. Daher müssen solche Objektive für eine bestimmte Deckglasdicke korrigiert sein; denn das Deckglas übt infolge der Brechung an seiner oberen Grenzfläche einen bestimmten, mit seiner Dicke wechselnden Einfluß auf die Strahlenvereinigung und auf die scheinbare Lage des Objekts gegenüber dem Objektiv des Mikroskops aus. Am empfindlichsten sind die stärkeren Trockensysteme für Veränderungen der Deckglasdicke. Bei Wasserimmersionen ist der Einfluß infolge der geringeren Ablenkung der Strahlen an der Grenze zwischen Deckglas und Wasserschicht schon etwas geringer, und bei homogenen Ölimmersionen übt die Deckglasdicke so gut wie keinen Einfluß auf die Güte des Bildes aus, da jetzt die Ablenkung zwischen Objekt und Frontlinse des Objektivs fast völlig wegfällt.

Eine weitere Folge der Konstanz des Objekt- und Bildortes ist die Notwendigkeit der Einhaltung einer bestimmten mechanischen Tubuslänge. Dieselbe beträgt in der Regel 160 mm (kontinentaler Tubus). Von der mechanischen Tubuslänge ist die optische Tubuslänge zu unterscheiden, welche den Abstand des vorderen Brennpunkts des Okulars vom hinteren Brennpunkt des Objektivs bedeutet; diese beträgt bei den Zeissschen Mikroskopen, wenigstens bei den Apochromaten, in der Regel 180 mm. Kleine Schwankungen in der Deckglasdicke lassen sich durch Veränderung der Tubuslänge bis zu einem gewissen Grade ausgleichen. Im allgemeinen kann man sagen, daß der Einfluß eines zu dünnen Deckglases sich durch Verlängerung des Tubus beseitigen läßt und umgekehrt. Stärkere Trockensysteme sowie die Wasserimmersionen werden aber gewöhnlich mit Korrektionsfassung versehen, welche die Entfernung des oberen Teils des Objektivs von dem unteren etwas zu verändern gestattet, so daß bei diesen Systemen die Verschiedenheiten in der Deckglasdicke viel wirksamer und innerhalb weiterer Grenzen durch die Korrektionsschraube ausgeglichen werden können.

Zur Prüfung der Mikroskopobjektive in bezug auf die Korrektion der sphärischen und chromatischen Aberrationen und zur Bestimmung der Deckglasdicke, für welche die Objektive am besten korrigiert sind, hat man ein sehr wertvolles Hilfsmittel in der Abbeschen Testplatte. Dieselbe besteht in der Form, wie sie neuerdings von der Zeissschen Werkstätte geliefert wird, aus einem dünnen, an der Unterseite versilberten Glaskeil, welcher mit der versilberten Seite nach unten auf einen Objektträger aufgekittet ist. Die Dicke des Keiles nimmt von 0·09 mm gleichmäßig bis 0·24 mm zu. In die Silberschicht sind Gruppen von parallelen Linien eingerissen, die schon mit den schwächsten Vergrößerungen bequem unterschieden werden können, deren Konturen aber bei der außerordentlich geringen Dicke des Silberniederschlages auch noch für die stärksten Objektive ein sehr empfindliches Testobjekt darstellen. Mit Hilfe dieser Testplatte lassen sich nun die geringsten Fehler in der sphärischen und chromatischen Korrektion feststellen.

Was zunächst die sphärische Aberration anlangt, so unterscheidet man zwischen sphärischer Überkorrektion und sphärischer Unterkorrektion, je nachdem die Randstrahlen eine größere oder geringere Vereinigungsweite haben, als die Zentralstrahlen. Durch Kombination einer überkorrigierten Linsengruppe mit einer unterkorrigierten läßt sich daher die sphärische Aberration verringern oder auch ganz beseitigen.

Auch bei der chromatischen Aberration redet man von chromatischer Überkorrektion und von chromatischer Unterkorrektion, je nachdem für eine bestimmte Zone der einfallenden weißen Strahlen die Vereinigungsweite der blauen Strahlen größer oder kleiner ist, wie die der roten Strahlen. Die chromatische Aberration läßt sich nur unter Anwendung verschiedener Glassorten mit verschiedenem Brechungs- und verschiedenem Zerstreuungsvermögen beseitigen. Bis zur Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hatte man hierzu nur wenige Glassorten zur Verfügung, und man war infolgedessen bei der Beseitigung der Aberrationen in den Mikroskopobjektiven auf einen Kompromiß angewiesen. Man beseitigte für eine Farbe,

gelbgrün, die sphärische Aberration für die ganze Öffnung des Objektivs und vereinigte außerdem noch blau und rot für eine mittlere Zone; die Randzone blieb dabei chromatisch überkorrigiert, die Zentralzone dagegen chromatisch unterkorrigiert. Die daraus entstehenden Fehler, die mit den damals zur Verfügung stehenden Glassorten nicht zu beseitigen waren, nannte Abbe die sphärische Differenz der chromatischen Aberration oder auch die chromatische Differenz der sphärischen Aberration. Dies ist im wesentlichen der Korrektionszustand der allgemein als „Achromate" bezeichneten Objektivsysteme; für dieselben sind deshalb bestimmte Farbenreste charakteristisch.

Die Abbesche Testplatte gestattet nun in einfachster Weise die Verhältnisse der chromatischen Korrektion zu prüfen. Ist bei den Achromaten gute Farbenkorrektion vorhanden, so dürfen bei schiefer Beleuchtung die Ränder der Silberstreifen in der Mitte des Sehfeldes nur schmale Farbensäume in den Farben des sogen. sekundären Spektrums zeigen, nämlich auf der einen Seite gelblichgrün bis apfelgrün, auf der anderen Seite violett bis rosa. Je vollkommener die Korrektion der Achromate ist, desto reiner und schmaler treten diese sekundären Farbensäume hervor. Ist dagegen die chromatische Aberration nicht genügend korrigiert, so treten andere Farben z. B. blau und rot auf[1].

Seitdem es auf Anregung von Abbe in der Glashütte von Schott in Jena gelungen ist, Glasarten herzustellen, welche hohes Zerstreuungsvermögen mit geringem Brechungsexponenten und umgekehrt vereinigen und überhaupt eine große Mannigfaltigkeit in bezug auf Brechungs- und Zerstreuungsvermögen aufweisen, ist man in den Stand gesetzt worden, die chromatische Korrektion noch viel weiter zu treiben und auch bei den schon bestehenden Achromaten noch zu verfeinern. Man vereinigt jetzt drei verschiedene Farben des Spektrums in einem Punkte der Achse, hebt also damit das sogen. sekundäre Spektrum der gewöhnlichen achromatischen Systeme auf, und korrigiert gleichzeitig die sphärische Aberration für zwei verschiedene Farben des Spektrums. Diese Objektive hat Abbe zum Unterschiede von den Achromaten als „Apochromate" bezeichnet. Die Prüfung mit der Abbeschen Testplatte läßt erkennen, daß in der Tat bei den Apochromaten auch die Farben des sekundären Spektrums in der Mitte des Sehfeldes verschwinden.

Die Prüfung der Korrektion der sphärischen Aberration und die Bestimmung der Deckglasdicke, für welche die sphärische Aberration eines Mikroskopobjektivs am besten korrigiert ist, gestaltet sich nach der Gebrauchsanweisung für die Abbesche Testplatte folgendermaßen: Um ein Objektiv von größerer Apertur zu untersuchen, stellt man nacheinander auf verschiedene Stellen der Testplatte ein und beobachtet jedesmal zunächst in der Mitte des Sehfeldes die Beschaffenheit der Bilder und deren Veränderungen, während man abwechselnd zentrales und möglichst schiefes Licht gibt. Wenn für die eingestellte Dicke des Glaskeils vollkommene Korrektion besteht, so müssen bei schiefem Lichte die Konturen der Silber-

[1]) Vgl. die von Carl Zeiss in Jena herausgegebene Gebrauchsanweisung für die Abbesche Testplatte.

streifen in der Mitte des Sehfeldes in voller Schärfe sichtbar bleiben, ohne daß nebelige Säume auftreten oder die Ränder ein verschwommenes Aussehen erhalten; und wenn man nach genauer Einstellung des Objektivs mit schiefem Lichte zu zentralem übergeht, darf keine Veränderung der Einstellung nötig werden, um die Konturen wiederum in voller Schärfe zu erhalten. Genügt ein Objektiv an einer Stelle der keilförmigen Testplatte diesen Ansprüchen, so ist es für die entsprechende Deckglasdicke ohne sphärische Aberration; ergibt dagegen jede Stelle der Testplatte bei schiefem Lichte nebelige Säume oder ein unsicheres verschwommenes Aussehen des Silberrandes, oder verlangt das Objektiv beim Übergang zum geraden Lichte eine andere Einstellung als bei schiefer Beleuchtung, um die Konturen möglichst scharf zu zeigen, so ist die sphärische Korrektion mehr oder minder unvollkommen. Nebelige Säume bei schiefer Beleuchtung deuten auf sphärische Überkorrektion der Randzone; mangelnde Schärfe der Konturen, ohne auffällige nebelige Säume auf Unterkorrektion dieser Randzone; verschiedene Einstellung bei schiefer und gerader Beleuchtung, also Niveaudifferenz zwischen dem Bilde der peripherischen und der zentralen Teile des Linsensystems, deuten auf ein ungenügendes Zusammenwirken der einzelnen Zonen, das sowohl einer durchschnittlichen Über- oder Unterkorrektion, als auch unregelmäßigen Fehlern der Strahlenvereinigung entsprechen kann.

Zum Schlusse des Vortrags wurden noch das einfache Prinzip und die Konstruktion des Abbeschen Apertometers zur Bestimmung der numerischen Apertur und des Öffnungswinkels eines beliebigen Objektivsystems ausführlich erläutert.

In den an den Vortrag sich anschließenden Übungen standen die Zeissschen Objektive D und DD mit Okular 4 und außerdem der Apochromat 4 mm mit dem Kompensationsokular 8 für die Prüfung mit Hilfe der Abbeschen Testplatte zur Verfügung; diese drei Objektive besitzen nahezu die gleiche Brennweite von 4 mm. Man konnte sich zunächst überzeugen, daß das sekundäre Spektrum an den Objektiven D und DD bei schiefer Beleuchtung deutlich sichtbar, dagegen an dem Apochromat 4 mm nicht mehr sichtbar war. Was den Einfluß der Deckglasdicke und der Tubuslänge auf die Güte des Bildes anlangt, so zeigte sich das Objektiv D für Änderung von Deckglasdicke und Tubuslänge wenig empfindlich. Das Objektiv DD erwies sich dagegen für solche Veränderung sehr empfindlich, was bei Beleuchtung mit weit geöffnetem Beleuchtungskegel ganz besonders hervortrat. Man konnte sich an diesem nicht mit Korrektionsfassung versehenen Objektiv auch leicht davon überzeugen, daß der Einfluß einer zu geringen Dicke des Deckglases durch Verlängerung des Tubus wieder beseitigt werden konnte und umgekehrt. Beim Apochromat 4 mm zeigte sich schließlich die Empfindlichkeit gegen Änderung der Deckglasdicke und Tubuslänge noch stärker als beim Objektiv DD; hier konnte aber der Einfluß einer falschen Deckglasdicke durch Verstellung der Korrektionsschraube kompensiert werden. Endlich konnte auch jeder Teilnehmer sich in der Handhabung des Apertometers üben und für die drei Objektive D, DD und 4 mm die Messung ihrer numerischen Aperturen selbst ausführen, welche bzw. die Werte 0·65, 0·85 und 0·95 besitzen.

Trotz der Reichhaltigkeit des behandelten Stoffes und der anzustellenden Übungen und Messungen bliebe für diesen zweiten Tag des Ferienkursus vielleicht noch der Wunsch übrig, in Zukunft im Vortrag auch auf die ABBEsche Sinusbedingung einzugehen, welche erfüllt sein muß, wenn nicht nur ein Achsenpunkt, sondern ein kleines zur Achse senkrechtes Flächenelement durch weit geöffnete Büschel stark vergrößert abgebildet werden soll. Hieran anschließend wäre dann bei den Übungen den Teilnehmern Gelegenheit zu geben, sich mit Hilfe des ABBEschen Kriteriums, daß eine bestimmte Doppelschar konzentrischer Hyperbeln durch das Objektiv allein in zwei sich unter rechtem Winkel durchschneidenden Scharen äquidistanter Geraden abgebildet werden, von der Erfüllung der Sinusbedingung bei den drei vorliegenden Objektiven zu überzeugen. —

Der dritte Tag brachte einen Vortrag des Herrn Dr. H. SIEDENTOPF über Dunkelfeldbeleuchtung. Es wurde zunächst noch einmal auf das Wesentliche des schon im ersten Vortrag ausführlich auseinandergesetzten Vorgangs der sekundären Abbildung im Mikroskop eingegangen und dabei vor allem hervorgehoben, daß die mikroskopischen Objekte die Lichtstrahlen nicht wie ein Sieb hindurchlassen, sondern sich wie beugende Objekte verhalten. Zum Verständnis des Zustandekommens des mikroskopischen Bildes dienen daher die zuerst von FRAUNHOFER genauer untersuchten Beugungserscheinungen an engen Gittern. Das Primäre ist der Beugungsvorgang, während das mikroskopische Bild erst durch einen Interferenzvorgang aus den primären Beugungsbüscheln entsteht. Je mehr Beugungsbüschel zur Interferenz kommen, um so objektähnlicher wird das Bild. Das Auflösungsvermögen eines Objektivs bemißt man durch die kleinste Entfernung δ der Streifen eines Parallelgitters, welche gerade noch aufgelöst wird; und zwar ist das Auflösungsvermögen um so größer, je kleiner diese Gitterkonstante. Dieselbe hat bei geradem und parallelem Licht von der Wellenlänge λ den Wert $\delta = \frac{\lambda}{a_o}$, unter a_o die numerische Apertur des Objektivs verstanden. Läßt man das Licht schief einfallen, oder gibt dem Beleuchtungskegel mit Hilfe eines Kondensors eine endliche Öffnung, so geht die Formel über in $\delta = \frac{\lambda}{a_o + a_k}$, sofern a_k die wirksame numerische Apertur der Beleuchtung, also des Kondensors bedeutet. Der kleinste Streifenabstand δ wird daher nicht allein durch Vergrößerung der numerischen Apertur des Objektivs, sondern auch durch Vermehrung der Schiefe der Beleuchtung verkleinert. Es wird jedoch durch schiefes Licht nur so lange das Auflösungsvermögen verbessert, als $a_k \leq a_o$ ist; denn sobald $a_k > a_o$ geworden ist, können die schiefen Beleuchtungsstrahlen von der Apertur a_k nicht mehr von der Randzone des Objektivs aufgenommen werden. Der kleinste Betrag des auflösbaren Gitterabstands ist deshalb erreicht, wenn $a_k = a_o$ und demnach $\delta = \frac{\lambda}{2 a_o}$ geworden ist. Bis dahin dringen die Beleuchtungsstrahlen in das Objektiv ein, und es entsteht ein dunkles Bild auf hellem Grunde, ein sogen. Hellfeldbild, für welches auch die Bezeichnung negatives Bild eingeführt ist. Sobald nun aber $a_k > a_o$ wird, entsteht ein Bild, welches allein durch die seitlichen Beugungs-

büschel hervorgebracht wird, da das absolute Maximum dann nicht mehr in das Objektiv eintreten kann. Das Gesichtsfeld erscheint jetzt dunkel, und das von den seitlichen Beugungsbüscheln herrührende Bild hell auf dunklem Grunde. Man hat es dann mit einem positiven oder Dunkelfeldbild zu tun; die zugehörige Beleuchtung bezeichnet man als Dunkelfeldbeleuchtung. Das positive Bild zeigt viel stärkere Kontraste, wie das negative Bild, und es werden besonders kleine punktförmige oder auch lineare Objekte durch die Helligkeitsvermehrung erst sichtbar gemacht, während sie sich im Hellfeldbild der direkten Beobachtung entziehen. Das Wesen der Dunkelfeldbeleuchtung ist also nicht in einer Verbesserung des Auflösungsvermögens, sondern in einer Vergrößerung des Kontrastes zu suchen.

Die erste Dunkelfeldbeleuchtung im Mikroskop erhielt Reade (1837), als er sich bemühte, durch immer schiefer einfallende Beleuchtungsstrahlen das Auflösungsvermögen seines Mikroskops immer mehr zu steigern. Die Einrichtung von Reade reichte aber nicht mehr für große Aperturen aus, da die Apertur der Dunkelfeldbeleuchtung sich nach dem zwischen Kondensor und Objektiv liegenden Mittel richtet, welches den kleinsten Brechungsexponenten besitzt. Wenham, welcher die seitliche Dunkelfeldbeleuchtung, ähnlich wie 1903 Cotton und Mouton[1], unter Zuhilfenahme eines kleinen totalreflektierenden Prismas unterhalb des Objektträgers herstellte, brachte daher an Stelle der Luft Öl zwischen das Prisma und den Objektträger und schuf damit den ersten Immersionskondensor (1856). Die von Wenham benutzte Beleuchtungsart brachte aber den Nachteil mit sich, daß ein linienförmiges Objekt nur dann sichtbar wurde, wenn das Azimut der Beleuchtungsstrahlen ziemlich genau senkrecht zu der linearen Ausdehnung des Objektes stand. Die Wenhamschen Prismen für Dunkelfeldbeleuchtung machen also bei linearen Objekten, wie z. B. Planktonnadeln, jeweils nur Nadeln von bestimmter Richtung der Beobachtung zugänglich.

Der störende Einfluß des Azimuts der Beleuchtung wird vermieden bei der Realisierung der Dunkelfeldbeleuchtung mittels einer Zentralblende von etwa 24 mm Durchmesser im Abbeschen Immersionskondensor. Wenham hatte selbst schon 1856 eine Dunkelfeldbeleuchtung ohne Azimutfehler erreicht mit Hilfe eines Paraboloidkondensors. Infolge mangelhafter technischer Ausführung gelangte der letztere jedoch damals nicht recht zur Wirkung. Außerdem wurde die Wirkungsweise desselben falsch aufgefaßt, indem man sie in einer durch die Totalreflexion am Deckglase hervorgerufenen Beleuchtung des Objekts von oben suchte. Neuerdings ist die Leistungsfähigkeit des Paraboloidkondensors infolge sorgfältigerer Herstellung von seiten der Firma Carl Zeiss außerordentlich vergrößert worden. Ein katoptrischer Kondensor bietet den Vorteil dar, daß er Verschleierungen der Bilder infolge störender Reflexionen an Linsenflächen vermeidet, wie sie z. B. beim Abbeschen Immersionskondensor auftreten.

Im Falle von Immersionsobjektiven muß bei der Erzielung der Dunkelfeldbeleuchtung durch Zentralblende im Abbeschen Immersionskondensor oder durch den Paraboloidkondensor die numerische Apertur auf einen

---

[1]) Vgl. diese Zeitschr. Bd. XXIV, 1908, p. 390.

geringeren Betrag z. B. von 1·3 bis auf 0·8 abgeblendet werden, damit die Beleuchtungsstrahlen nicht zum Teil direkt in das Objektiv eindringen. Hierdurch wird aber der Vorteil des größeren Auflösungsvermögens von Immersionsobjektiven aufgegeben.

Bei der Dunkelfeldbeleuchtung, welche die Bilder punktförmiger Objekte als Beugungsscheibchen zeigt, lassen sich die Aberrationserscheinungen und Aberrationsfehler noch besser konstatieren wie bei den negativen Bildern der Hellfeldbeleuchtung. Hat man es mit Unterkorrektion zu tun, ist z. B. das Deckglas zu dünn, so stellen sich Beugungsringe bei zu tiefer Einstellung ein, während das ursprünglich vorhandene Beugungsscheibchen in einem allgemeinen Nebel verschwindet, sobald zu hoch eingestellt wird. Überkorrektion, bzw. zu dickes Deckglas, läßt sich dagegen an dem umgekehrten Verhalten erkennen. Zum Unterschied hiervon tritt bei zu tiefer oder zu hoher Einstellung weder Ringbildung noch ein das Bild einhüllender Nebel ein, wenn das Deckglas die der sphärischen Korrektion des Objektivs entsprechende richtige Dicke besitzt.

Während bei den angeführten Arten der Dunkelfeldbeleuchtung, wie es Dr. Siedentopf kurz ausdrückt[1], der Beleuchtungskegel außen und der Beugungskegel innen ist, gibt es nun noch eine weitere Anordnung für Dunkelfeldbeleuchtung, bei welcher umgekehrt der Beleuchtungskegel innen und der Beugungskegel außen ist. Zu diesem Zwecke hat man nur hinter dem Objektiv oder im Innern desselben eine geeignete zentrale Blende anzubringen, welche die direkten Beleuchtungsstrahlen, soweit sie in das Objektiv eintreten, abblendet, während die von der Randzone des Objektivs aufgenommenen Beugungsbüschel das Bild erzeugen. Es ist klar, daß diese Art der Dunkelfeldbeleuchtung nur möglich ist, wenn die Apertur a_k des Beleuchtungskegels kleiner ist als die Apertur a_o des Objektivs. Infolge der unvermeidlichen Reflexe an den Linsenflächen des Objektivsystems wird das Bild sehr verschleiert, wenn sich die Blende hinter dem Objektiv befindet. Es hat daher Abbe die Blende an der oberen Fläche der Frontlinse angebracht, welche zu diesem Zwecke eben abgeschliffen und an der abgeschliffenen Stelle mit schwarzem Lack überzogen wurde. Wenn sich auch hierdurch die störenden Verschleierungen bis zu einem gewissen Grade vermeiden lassen, so ist doch unter Umständen noch eine Störung des Auflösungsvermögens vorhanden. Da das absolute Maximum abgeblendet ist, so kann bei einem Gitter nur dann die richtige Gitterdistanz abgebildet werden, wenn mindestens zwei benachbarte Beugungsbüschel zur Geltung kommen. Tritt dagegen auf jeder Seite nur das erste Beugungsbüschel in das Objektiv ein, so besitzen dieselben den doppelten Winkelabstand voneinander wie z. B. das erste und zweite Beugungsbüschel auf einer Seite; infolge hiervon erscheint die Anzahl der Streifen des Gitters verdoppelt, was nach der Abbeschen Theorie ohne weiteres verständlich ist.

Schließlich hob der Vortragende noch hervor, daß sich die Dunkelfeldbeleuchtung im allgemeinen nicht zur Abbildung gefärbter Präparate

[1]) Vgl. Über die physikalischen Prinzipien der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen (Berl. klin. Wochenschrift 1904, No. 32).

eignet, sondern daß man bei diesen auf die Hellfeldbeleuchtung angewiesen ist. —

Die an den Vortrag sich anschließenden Übungen gestatteten den Teilnehmern sich zunächst von dem Unterschied in der Abbildung feiner Diatomeennadeln bei Hellfeldbeleuchtung und bei Dunkelfeldbeleuchtung mit Hilfe einer zentralen Blende im Diaphragmenträger zu überzeugen. Die Versuche wurden mit dem Objektiv aa und dem Huygensschen Okular 4 angestellt. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung traten die Nadeln, welche vorher im durchfallenden Lichte nur schwer aufzufinden waren, mit überraschender Deutlichkeit hervor. In einem weiteren Versuche konnte man sich von dem Einflusse des Azimuts der Beleuchtungsstrahlen auf die Sichtbarmachung von Kanten und linearen Objekten Rechenschaft geben. Zu diesem Zwecke wurde in den Diaphragmaträger eine geeignete Schlitzblende eingelegt und diese dann um die Achse des Mikroskops gedreht.

Ferner wurde zunächst ein Präparat von Zahnbakterien bei Dunkelfeldbeleuchtung mit Zentralblende im Immersionskondensor und dann mit Hilfe des Zeissschen Paraboloidkondensors beobachtet. Hierzu diente Apochromat 4 mm mit Einhängeblende zur Reduzierung der numerischen Apertur von 0·95 auf 0·8 und Kompensationsokular 8 oder 12. Man konnte sich dabei davon überzeugen, daß der Paraboloidkondensor, bei welchem die das Bild verschleiernden Reflexe vermieden sind, einen dunkleren Untergrund gibt wie der Linsenkondensor; auch zeigte jener bei richtiger Objektträgerdicke eine intensivere Beleuchtung der kleinen Objekte, weil bei ihm chromatische Fehler nicht auftreten können.

Man konnte weiterhin durch einen einfachen Versuch mit Hilfe einer vorgehaltenen Milchglasscheibe sich von der Vergrößerung der Apertur bei einem Kondensor überzeugen, wenn derselbe als Immersionskondensor benutzt wird; da die Durchmesser der sichtbaren hellen Kreise beim Trockenkondensor und beim Immersionskondensor sich wie die wirksamen numerischen Aperturen verhalten müssen, so war man auch imstande das Verhältnis der beiden Aperturen direkt zu messen.

Schließlich war Gelegenheit gegeben, mit Hilfe der Abbeschen Testplatte die sphärische Aberration bei Dunkelfeldbeleuchtung zu beobachten. Gemäß der vorliegenden Gebrauchsanweisung wurde zuerst die Testplatte an der Stelle des Glaskeils von 0·15 mm Dicke eingestellt und die Korrektionsschraube ebenfalls nach der Marke 0·15 gedreht. Unter diesen Umständen zeigten die Bilder bei etwas zu hoher oder zu tiefer Einstellung keine Verschiedenheiten. Wenn nun die Korrektionsschraube auf 0·20 gestellt wurde, so daß die Deckglasdicke zu gering für das Objektiv war, so zeigten die Beugungsscheibchen nur bei zu tiefer Einstellung Ringe. Umgekehrt erschienen nur bei zu hoher Einstellung Ringe, wenn die Korrektionsfassung auf 0·10 gestellt, das Deckglas für das Objektiv also zu dick war.

Am vierten Tage hielt Herr Dr. A. Köhler einen Vortrag mit Demonstrationen über Mikrophotographie. Zunächst wurden die Einrichtungen zur Projektion des mikroskopischen Bildes auf die photographische Platte ausführlich erörtert und mit Hilfe von Linsen in größerem Maßstabe demonstriert. Das vom Mikroskopobjektiv entworfene reelle Bild

läßt sich nur bei schwachen Objektiven direkt zur Projektion verwenden. Bei stärkeren Objektiven muß man dagegen das Okular mit zu Hilfe nehmen und dann entweder das ganze Mikroskop, d. h. Objektiv und Okular, oder das Okular allein etwas verschieben, damit das Gesamtbild reell wird. Wenn dieses reelle Bild auf einem Schirm aufgefangen und dann direkt beobachtet werden soll, so muß sich dabei der Beobachter annähernd in gleichem Abstand vom Schirm befinden wie die Austrittspupille des Mikroskops, wenn das Bild dem Auge des Beobachters in der gleichen scheinbaren Größe, und damit in derselben Deutlichkeit erscheinen soll wie beim subjektiven Gebrauche des Mikroskops. Bei kleinerem oder größerem Abstand des Beobachters erscheint das projizierte Bild entsprechend größer oder kleiner. Auf die Verhältnisse bei der Mikrophotographie übertragen heißt das, es muß der Cameraauszug ungefähr so groß sein, daß die photographische Platte etwa um denselben Abstand von der Austrittspupille des Mikroskops entfernt ist, aus dem das spätere Bild betrachtet werden soll, d. h. also etwa um die deutliche Sehweite von 25 cm. Ist der Abstand wesentlich größer, so können unter Umständen Korrektionsmängel der Okulare, die ja häufig einen ganz einfachen Bau besitzen, im Bilde störend bemerkbar werden. Von dieser Einschränkung ist man frei bei Benutzung eines Projektionsokulars, das an Stelle der Augenlinse ein kleines sphärisch und chromatisch gut korrigiertes Projektionssystem besitzt. Dieses System projiziert das am Ort der Okularblende liegende reelle Bild auf die Platte. Da dasselbe nur kleine Apertur hat, so kann es, ohne daß die sphärische Korrektion darunter leidet, sowohl bei großem wie bei kleinem Cameraauszug benutzt werden.

An Stelle des gewöhnlichen Okulars oder des Projektionsokulars läßt sich auch eine Konkavlinse als Okular (Amplifier) verwenden. Als letzte Methode ist die Verbindung einer gewöhnlichen photographischen Camera mit dem ganzen Mikroskop zu nennen. Bei dieser Methode bleibt das Mikroskop mit dem Okular vollständig unverändert wie bei der subjektiven Beobachtung, indem das photographische Objektiv das abbildende System des Auges, die photographische Platte dessen Netzhaut vertritt. Die Einstellung des Mikroskops muß nur ungefähr innerhalb derselben Grenzen geändert werden, wie bei subjektiver Beobachtung, damit ein reelles Bild auf der photographischen Platte entsteht.

Weiter ging der Vortragende auf die verschiedenen Methoden der Beleuchtung der Objekte mit durchfallendem und auffallendem Lichte ein. Hierbei spielt vor allem die Ausdehnung, in der das Objektfeld beleuchtet werden muß, eine Rolle. Man darf weder zu viel noch zu wenig beleuchten. Bei zu großer Ausdehnung der Beleuchtung stellen sich insbesondere störende Reflexe ein und können auch leicht Präparate durch Hitze zerstört werden. Daher ist es notwendig, möglichste Ökonomie des Lichtes eintreten zu lassen. Die Beleuchtungsapparate müssen daher so beschaffen sein, daß sie die Beleuchtung möglichst auf das Sehfeld zu beschränken und außerdem den Öffnungswinkel sowie das Azimut der Beleuchtung genügend zu regulieren gestatten.

Es wurde nun für die verschiedenen Arten der Beleuchtung der Strahlengang auseinandergesetzt. Zur Ableitung desselben verfolgt man

zweckmäßigerweise die Strahlen vom Objekt aus nach der Lichtquelle zu, also in umgekehrter Richtung. Was insbesondere die Beleuchtung mittels Plan- oder Hohlspiegels anlangt, so kann man zwar durch den Hohlspiegel die größere Apertur erreichen, über 0·3 bis 0·4 kommt man aber mit der numerischen Apertur auch bei diesem nicht hinaus. Zur Erreichung noch größerer Aperturen muß man daher zu Beleuchtungslinsen, d. h. zu Kondensoren seine Zuflucht nehmen. Die Kondensoren sind nach der Art der Mikroskopobjektive gebaut, sie müssen aber mit größerer Brennweite ausgeführt sein, da ja die Dicke der Objektträger die der Deckgläser wesentlich übersteigt. Auch bei diesen Beleuchtungssystemen verfolgt man, um ihre Wirkungsweise zu erklären, zweckmäßigerweise die Strahlen rückwärts durch den Kondensor hindurch nach der Lichtquelle. Bei einer kleinen Lichtquelle muß man das Beleuchtungssystem besonders sphärisch ausreichend korrigieren, um eine gleichmäßige Beleuchtung des Objektfeldes zu erreichen; bei größerer Lichtquelle, wie dem Himmel, einer Fensteröffnung, ist das nicht nötig.

Schließlich wurden die Vertikalilluminatoren behandelt, durch welche man die Objekte mit auffallendem Lichte beleuchten kann. Man hat die Vertikalilluminatoren sowohl mit halbdurchsichtigem die ganze Objektivöffnung bedeckendem, als auch mit undurchsichtigem nur einen Teil der Objektivöffnung bedeckendem Spiegel konstruiert. Die Objektive müssen bei Verwendung des Vertikalilluminators anders korrigiert sein wie bei durchfallendem Licht, da bei Trockensystemen das Deckglas, um Reflexe zu vermeiden, fortfallen muß. Bei homogenen Immersionen darf dagegen das Deckglas wieder verwendet werden.

Von großem Vorteil ist die Verwendung einfarbigen Lichtes für die Mikrophotographie; denn selbst bei den Apochromaten sind noch Reste der chromatischen Aberration vorhanden, die natürlich bei Verwendung monochromatischen Lichtes wegfallen. Außerdem ist es aus später zu erörternden Gründen immer zweckmäßig, von den jeweils wirksamsten Strahlen nur die mit der kürzesten Wellenlänge zu benutzen, alle Strahlen von größerer Wellenlänge jedoch auszuschließen. Bei gefärbten Objekten beleuchtet man außerdem, wenn man möglichst kontrastreiche Bilder zu erhalten wünscht, am besten mit dem Licht, das von den Objekten am stärksten absorbiert wird.

Schließlich wurde noch als Vorbereitung für den Vortrag am folgenden Tag mittels eines Fluoreszenzschirmes das ultraviolette Spektrum entworfen, und es wurden die wesentlichsten Eigenschaften dieses Lichtes demonstriert. Glas ist für ultraviolettes Licht vollkommen undurchlässig, nur Uviolglas ist in sehr dünnen Schichten durchlässig, Bergkristall und Quarzglas sind dagegen außerordentlich durchlässig. Daher kann man die Projektion des ultravioletten Spektrums nicht mit Glasprismen, sondern nur mit Quarzprismen ausführen.

Betreffs der Verwendung des ultravioletten Lichtes zur Mikrophotographie verwies der Vortragende auf seinen für den folgenden Tag in Aussicht genommenen Vortrag.

Der fünfte Tag brachte zunächst wieder einen Vortrag des Herrn Dr. Siedentopf über die Prinzipien der Sichtbarmachung ultra-

mikroskopischer Teilchen. Man bezeichnet Dimensionen oder Teilchen als ultramikroskopisch bzw. als Ultramikronen, wenn sie unterhalb der Grenze des Auflösungsvermögens der Mikroskopobjektive liegen, also kleiner als etwa 200 $\mu\mu$ sind. Die Ultramikronen trennt man dann weiter in Submikronen und Amikronen, bzw. in submikroskopische und amikroskopische Teilchen, je nachdem sie sich überhaupt sichtbar machen lassen oder nicht. Die Grenze zwischen beiden scheint nach den bisherigen Erfahrungen etwa bei 4 $\mu\mu$ zu liegen. Man ist also mit der Sichtbarmachung schon in die Nähe des Durchmessers einer Wasserstoffmolekel von 0·1 $\mu\mu$ gekommen und hat den Durchmesser der Molekel der löslichen Stärke von 5 $\mu\mu$ schon erreicht.

Die ultramikroskopischen Teilchen verhalten sich ganz anders, als enge Gitter. Während an den letzteren bei der Beleuchtung getrennte Beugungsbüschel hervorgerufen werden, gehen von einem ultramikroskopischen Teilchen dabei nach allen Richtungen im Raume abgebeugte Strahlen aus, so daß sich das Teilchen wie ein selbstleuchtender Körper verhält. Sammelt man derartige Strahlen durch eine Linse, so entsteht von einem Objektpunkt durch einen Interferenzvorgang ein Bildpunkt mit Ringen, den man als Beugungsscheibchen bezeichnet. Das Beugungsscheibchen ist um so kleiner je kleiner die Wellenlänge des abgebeugten Lichtes und je größer die numerische Apertur des Mikroskopobjektivs ist.

Für die Sichtbarmachung der Submikronen müssen folgende fünf Bedingungen erfüllt sein: 1) Die Beleuchtung muß große spezifische Helligkeit besitzen, da die Intensität des an sehr kleinen Ultramikronen abgebeugten Lichts bei Kugelform der Teilchen mit der sechsten Potenz ihres Radius abnimmt. 2) Es muß großer Kontrast zwischen der Helligkeit des Beugungsscheibchens und der der Umgebung vorhanden sein, also Dunkelfeldbeleuchtung gewählt werden. 3) Das Beleuchtungssystem muß große numerische Apertur besitzen und vor allem genauer als sonst üblich korrigiert sein. 4) Die beleuchtete Schicht darf nicht merklich dicker sein, wie die Sehtiefe des Beobachtungsobjektivs. 5) Der Abstand der Teilchen voneinander muß auflösbar sein, d. h. die Konzentration derselben darf nicht zu hoch sein.

Außer den im früheren Vortrag erläuterten Methoden zur Dunkelfeldbeleuchtung und dem bekannten Spaltultramikroskop nach Siedentopf und Zsigmondy eignet sich zur Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen, sofern dieselben in Flüssigkeit eingebettet sind, vor allem das nach den Angaben von Siedentopf von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellte Kardioid-Ultramikroskop[1], dessen wesentlichster Bestandteil der Kardioidkondensor ist. Der letztere zeichnet sich vor dem Paraboloidkondensor dadurch aus, daß bei ihm die Brennweite aller Zonen konstant ist, und er daher einen nahezu aplanatischen Dunkelfeldkondensor darstellt. Dieser Vorzug schreibt sich von einer geometrischen Eigenschaft der wegen ihrer Herzform als Kardioide bezeichneten speziellen Rollkurve her, welche der Konstruktion des Kondensors zugrunde liegt.

---

[1]) Vgl. Über einen neuen Fortschritt in der Ultramikroskopie (Verh. d. Deutsch. physik. Gesellsch. Bd. XII, 1910, p. 6—47).

Um bei Verwendung des Kardioidkondensors der zu untersuchenden Flüssigkeit die notwendige geringe Schichtdicke geben zu können, hat Siedentopf noch eine besondere Kammer zur Aufnahme der Flüssigkeit konstruiert, welche ebenfalls ausführlich beschrieben wurde. Da für diese aus Quarz hergestellte Kammer ein verhältnismäßig dickes Deckglas verwendet werden muß, wenn die richtige Schichtdicke gewährleistet werden soll, so müssen die Mikroskopobjektive für dieses dicke Deckglas aus geschmolzenem Quarz besonders korrigiert werden. Das Deckglas der Quarzkammer muß genau senkrecht gegen die Achse des Mikroskops gestellt sein, wenn die Beugungsscheibchen kreisrund erscheinen sollen. Bei der geringsten Abweichung von dieser Stellung erscheint das Beugungsscheibchen seitlich verlängert und nimmt unter Umständen sehr komplizierte Form an. Diese Verlängerung breitet sich stets nach der Seite aus, auf welcher das Deckglas zu hoch liegt; man kann daher leicht erkennen, wie die Lage des Deckglases zu verbessern ist. Die richtige Lage des Deckglases ist aber wesentlich, wenn man möglichst lichtstarke Beugungsscheibchen erhalten will.

Die mit dem Kardioidkondensor erreichbare Helligkeit übertrifft die beim Spaltultramikroskop um mehr als das Zwanzigfache. Trotzdem ist man für die Untersuchung fester Kolloïde (z. B. gefärbter Gläser und Kristalle, sowie mancher Gele) allein auf das Spaltultramikroskop von Siedentopf und Zsigmondy angewiesen, da sich von festen Körpern nicht so dünne fehlerfreie Dünnschliffe mechanisch herstellen lassen, wie sie zur ultramikroskopischen Untersuchung erforderlich sind, wenn das Bild nicht verschleiert sein soll. Beim Spaltultramikroskop wird aber durch einen orthogonal zur Mikroskopachse stehenden Beleuchtungskegel ein sehr dünner Schnitt auf optischem Wege hergestellt, indem ein horizontal liegender Präzisionsspalt auf etwa 2 bis 4 μ Breite verkleinert im festen oder auch flüssigen Präparat abgebildet wird.

Das neue Ultramikroskop hat schon die vielseitigste Verwendung gefunden. Zunächst eignet es sich besonders gut zur Beobachtung der Brownschen Molekularbewegung. Es ist Siedentopf sogar möglich geworden, nicht nur eine, sondern eine ganze Serie von Momentaufnahmen derselben herzustellen, so daß man sich hinterher auf kinematographischem Wege die Bewegung reproduzieren kann. Eine derartige kinematographische Projektion wurde u. a. am Schlusse des Vortrags vorgeführt.

Da man beim Kardioidultramikroskop im Gegensatz zum Spaltultramikroskop das Präparat durch mikrometrische Verstellung des Objekttisches innerhalb gewisser Grenzen verschieben kann, so lassen sich die einzelnen in Brownscher Molekularbewegung befindlichen Teilchen unter Umständen eine Zeitlang in dem verhältnismäßig großen Sehfeld verfolgen und dadurch auf ihre Farbe genauer untersuchen. Auf diese Weise hat sich die Theorie von Mie im großen und ganzen bestätigen lassen, nach welcher die kleineren Goldteilchen wesentlich gelbgrünes, die größeren von 100 $\mu\mu$ Durchmesser und darüber dagegen gelbes bis orangefarbiges Licht abbeugen sollen. Es haben sich aber auch deutliche Ausnahmen von dieser Regel konstatieren lassen, so daß also die Miesche Theorie einer Modifikation bedarf, welche auch diesen Befunden gerecht wird.

Das von den Ultramikronen abgebeugte Licht erweist sich als teilweise polarisiert. Siedentopf findet den Grund für diese Erscheinung darin, daß die Schwingungen, welche ein ultramikroskopisches Teilchen unter dem Einfluß eines linear polarisierten Lichtstrahls macht, in ihrer eignen Richtung nicht fortgepflanzt werden können, da es sich ja sonst um longitudinale Schwingungen handeln würde. Zum Beweise der Richtigkeit dieser Anschauung hat Siedentopf einen sehr bemerkenswerten Versuch angegeben, der am letzten Tage den Teilnehmern des Kursus vorgeführt wurde. Verwendet man nämlich beim Spaltultramikroskop linear polarisiertes Licht zur Beleuchtung, so entsteht in der Mitte der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektivs ein kleiner dunkler Fleck, wenn die Polarisationsebene der Beleuchtungsstrahlen auf der Mikroskopachse senkrecht steht. Bei Drehung der Polarisationsebene rückt dieser dunkle Fleck zur Seite nach einer Stelle, welche in jedem Falle der veränderten Schwingungsrichtung genau entspricht. Hieraus ist zu schließen, daß sich die Goldteilchen wie isotrope Kügelchen verhalten, die wesentlich nur die von Mie sogen. Rayleighsche Welle aussenden.

Durch Deformation dieser isotropen Goldteilchen kann man in kolloidalen Goldlösungen an denselben geordneten Dichroismus hervorrufen mit Hilfe eines Versuchs, den Siedentopf folgendermaßen beschreibt[1]: „Läßt man in der Quarzkammer (des Kardioidultramikroskops) aus einem Tropfen kolloidaler Goldlösung die grünlich strahlenden Teilchen durch irgendeine Manipulation ausfallen, so daß sie am Deckglas adsorbiert liegen, ohne ihre grüne Farbe zu ändern, und drückt das Deckglas mit einem vorn flach abgerundeten Metallstab gegen den Sockel, so erscheinen plötzlich alle Teilchen, die vorher grün waren, orangefarbig bis braun. Der Farbton wird kräftiger und mehr braunrot bis braunviolett, je stärker man den Druck wirken läßt. Man darf natürlich nicht mit einem spitzen Gegenstand drücken, da dann das Deckglas leicht zerdrückt wird. Dieselbe Erscheinung tritt auch beim Drücken von buntfarbigen Silberteilchen aus kolloidalen Lösungen ein, wenn dabei, wie vorher, die Druckrichtung parallel der Sehrichtung steht. Auch die Ag-Teilchen werden hierbei braun bis purpurfarbig.“ Ein derartiger Versuch wurde am letzten Tage vorgeführt. Nimmt man an, daß die ursprünglich kugelförmigen Teilchen durch den Druck zu Rotationsellipsoiden mit der kleinen Achse in der Druckrichtung werden, so lassen sich die beschriebenen Erscheinungen des Dichroismus erklären und lassen sich auch mit dem ebenfalls von Siedentopf festgestellten Dichroismus von gedrücktem farbigem Steinsalz und dem Dichroismus in Silber- und Goldgelatinehäuten in nahen Zusammenhang bringen.

Das neue Ultramikroskop gestattet auch die direkte Beobachtung mikrochemischer Reaktionen und offenbart infolge seiner außerordentlichen Lichtstärke eine Menge meist noch nicht bekannter Lichtreaktionen. Es wurde in letzterer Hinsicht u. a. auf einen ebenfalls am letzten Tage vor-

---

[1] Vgl. Siedentopf, H., Über einen neuen Fortschritt in der Ultramikroskopie (Verhandl. d. Deutschen phys. Ges. Jahrg. XII, 1910, No. 1, p. 27).

geführten Versuch hingewiesen, bei welchem man unter Anwendung starker Vergrößerung die photochemische Zersetzung von Halogensilber verfolgen konnte. Diese Umwandlung setzt an diskreten Punkten ein, liefert zuerst vereinzelte rote und gelbe, dann viele grüne Teilchen und zuletzt blauviolette Silberteilchen.

Betreffs der Bedeutung der Dunkelfeldbeleuchtung und insbesondere der Ultramikroskopie für Biologie und Medizin verweist der Vortragende auf eine Schrift von N. GAIDUKOV, Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie in der Biologie und Medizin (bei G. FISCHER, Jena 1910), in welcher die hauptsächlichsten Resultate auf diesem Gebiete zusammengestellt sind.

Zum Schlusse hebt der Vortragende hervor, wie sich die primitivste Dunkelfeldbeleuchtung in einem stetigen Übergang allmählich bis zum Kardioidultramikroskop entwickelt hat, und gibt dann nochmals eine Übersicht über die Auswahl ultramikroskopischer Einrichtungen für verschiedene Zwecke[1].

Nach dem Vortrage des Herrn Dr. SIEDENTOPF hielt dann am gleichen Tage Herr Dr. A. KÖHLER noch einen Vortrag über Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht. Der Vortragende ging zunächst nochmals auf die FRAUNHOFERschen Beugungserscheinungen an engen Gittern ein und gab die Beziehungen an, welche bei geradem Licht zwischen der Neigung der verschiedenen Beugungsbüschel gegen die Mikroskopachse, der relativen Wellenlänge λ und der Gitterkonstanten δ gelten. Sind u_1, u_2, u_3 diese Neigungswinkel für das erste, zweite, dritte Büschel, so haben die Sinus dieser Winkel die Werte $\frac{\lambda}{\delta}$, $\frac{2\lambda}{\delta}$, $\frac{3\lambda}{\delta}$ usw.[2] Sobald der Wert eines dieser Brüche größer als 1 geworden ist, kann das zugehörige Beugungsbüschel in dem Raum über dem Gitter nicht mehr zustande kommen. Bei Pleurosigma erweist sich z. B. ungefähr die Gitterkonstante $\delta = 0{\cdot}55\ \mu$. Daher kann hier bei geradem Licht, ein genügend enger einfallender Strahlenkegel vorausgesetzt, schon das erste gelbe Beugungsbüschel gar nicht mehr entstehen. In der Tat beobachtet man bei sehr engem geradem Licht nach Abnehmen des Okulars bei einem Objektiv von 0·95 numerischer Apertur in der hinteren Brennebene desselben nur die blauen Enden von sechs gleichmäßig um das absolute Maximum gruppierten Beugungsspektren. Bei schiefem Licht kommen dagegen auch die gelben und roten Teile an dem Beugungsspektrum zum Vorschein, welches dem Azimut der Beleuchtung entspricht.

Durch Eintreten der Strahlen in ein dichteres Mittel wird die relative Wellenlänge λ verkleinert, und zwar hat man allgemein $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ unter λ_0 die

---

[1]) Vgl. auch die betreffende Druckschrift von CARL ZEISS, Signatur M. 308.

[2]) Es ist zu beachten, daß hier $\frac{\lambda}{\delta}$ nur den Wert von $\sin u_1$ und nicht von $n \sin u_1$ ausdrückt, weil unter λ nicht die absolute, sondern die dem Mittel mit dem Brechungsexponenten n entsprechende relative Wellenlänge verstanden sein soll.

absolute Wellenlänge, d. h. die Wellenlänge im leeren Raum, verstanden. So ist im Wasser die Wellenlänge auf $^3/_4$, in Öl auf $^2/_3$ ihres absoluten Betrags herabgesetzt.

Es gibt daher zwei Wege, die Beugungsbüschel, welche vom Mikroskop aufgenommen werden, vollständiger zu machen und eventuell zu vermehren: erstens die Anwendung kleiner absoluter Wellenlängen, zweitens das Eintretenlassen der Strahlen in ein Medium von höherem Brechungsexponenten. Die zweite Methode erfordert Immersion und Brechungsexponenten für Deckglas, Frontlinse und Immersionsflüssigkeit, welche mindestens dem Brechungsexponenten des Einschlußmittels gleich sind, wenn der optische Vorteil der Einbettung des Präparats nicht zum Teil wieder aufgehoben werden soll. Das gleiche gilt für den Objektträger und den Kondensor. Die Anwendung von Strahlen kleiner Wellenlänge erfordert dagegen Ausschluß des Lichtes von größerer Wellenlänge, damit diese die feine Struktur nicht auflösenden Strahlen das Bild nicht beeinträchtigen. Für die subjektive Beobachtung ist kurzwelliges Licht nur bis zu einer bestimmten Grenze anwendbar, da das Auge von einer bestimmten Wellenlänge an um so unempfindlicher wird, je kleiner die Wellenlänge wird; am empfindlichsten ist dasselbe etwa für grün von der Wellenlänge 550 $\mu\mu$. Bei der photographischen Platte liegen dagegen die Verhältnisse nahezu umgekehrt, so daß man zur Photographie Strahlen heranziehen kann, welche weit im ultravioletten Gebiet des Spektrums liegen und für das Auge ganz unsichtbar sind.

Verwendet man nun für die Mikrophotographie zur Erzielung eines möglichst großen Auflösungsvermögens ultraviolettes Licht, so dürfen die Linsen des Kondensors und des Mikroskops nicht mehr aus Glas sein, weil dieses die ultravioletten Strahlen absorbiert. Aus dem gleichen Grunde darf man zur Einbettung des Objekts und als Immersionsflüssigkeit nicht Medien nehmen, die ebenfalls das ultraviolette Licht absorbieren, z. B. nicht Kanadabalsam oder Zedernöl. Wasser läßt zwar die ultravioletten Strahlen durch, doch nimmt man als Immersionsflüssigkeit am besten verdünntes Glyzerin, hauptsächlich deshalb, um bei der Korrektion der Systeme die Vorteile zu haben, die die Anwendung einer streng homogenen Immersion bietet. Als Linsenmaterial kommt nur Bergkristall in Frage, dem man durch Schmelzen seine kristallinische Struktur genommen hat, da diese sonst Doppelbrechung verursachen würde. Nur für das Okular kann man ungeschmolzenen Bergkristall nehmen, weil hier die Doppelbrechung nicht stört. Da man monochromatisches Licht zu den photographischen Aufnahmen mit ultraviolettem Licht verwendet, so brauchen die Mikroskopobjektive nicht chromatisch korrigiert zu sein. Die ultravioletten Strahlen stellt man am besten durch Funkenentladungen zwischen Kadmium- oder Magnesiumelektroden her. Verwendet man dann eine Linie von $\lambda = 275\ \mu\mu$, so läßt sich bei einer numerischen Apertur von 1·30 noch ein Streifenabstand von 106 $\mu\mu$ mikrophotographisch auflösen.

Die Anwendung des ultravioletten Lichtes ersetzt auch bis zu einem gewissen Grade die Färbung, da bestimmte Teile organischer Gebilde das ultraviolette Licht stark absorbieren, während andere Teile es durchlassen. Die Photogramme frischer ungefärbter Präparate machen daher meist den

Eindruck, als ob die Schnitte gefärbt wären. Bei der Photographie überlebender organischer Gewébe muß man infolge der nachteiligen Einwirkung der ultravioletten Strahlen die Expositionszeit möglichst kurz nehmen.

In monochromatischem Licht wird auch bei den Monochromaten wie bei allen Systemen von großer Apertur nur ein optischer Querschnitt abgebildet. Verwendet man dagegen bei diesen Systemen Licht verschiedener Wellenlänge zur Mikrophotographie, so kann durch den Umstand, daß das Objektiv nicht chromatisch korrigiert ist, bis zu gewissem Grade Tiefenwirkung, d. h. Abbildung verschiedener optischer Querschnitte erzielt werden.

Der Vortragende erläuterte und demonstrierte nun ausführlich die von ihm verwendete Einrichtung bei der Herstellung der vortrefflichen Photographien mit ultraviolettem Licht, welche ausgestellt waren. Die Einzelheiten seiner Methode sind aus seiner in dieser Zeitschrift (Bd. XXI, 1904) veröffentlichten Abhandlung: Mikrophotographische Untersuchungen mit ultraviolettem Licht zu ersehen.

Der sechste und letzte Tag brachte ausschließlich Demonstrationen zu den an den vorhergehenden Tagen gehaltenen Vorträgen. Diese Demonstrationen bildeten eine kurze und recht instruktive Übersicht über die wesentlichen Themata, die in den Vorträgen erörtert worden waren; sie gaben nicht nur für zahlreiche Darlegungen die experimentellen Bestätigungen, sondern sie dienten vor allem auch dem Zwecke, die Teilnehmer in einzelnen Gruppen mit den neuesten Fortschritten auf den Gebieten der Mikrophotographie und der Ultramikroskopie, sowie auch mit der Handhabung der Apparate vertraut zu machen.

[Eingegangen am 25. März 1910.]